

## ВПЛИВ АВТОМАТИК ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС НА СТІЙКІСТЬ ЗА ЧАСТОТОЮ ПРИ ПОДІЛІ ОЕС УКРАЇНИ НА ДВА ІЗОЛЬОВАНО ПРАЦЮЮЧИХ ОСТРОВИ

А.О.Стелюк, канд.техн.наук  
 Інститут електродинаміки НАН України,  
 пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.  
 e-mail: [astelyuk@gmail.com](mailto:astelyuk@gmail.com)

Розглянуто зміну частоти в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України. Проведено аналіз роботи частотних автоматик енергоблоків атомних електростанцій при виникненні аварійних режимів. Запропоновано методологію проведення розрахункових досліджень для різних схемно-режимних умов ОЕС України при її поділі на два ізольовано працюючих острови по перетину «Захід-Вінниця». Наведено результати моделювання з урахуванням дії пристроїв автоматичного частотного розвантаження та частотних автоматик енергоблоків при виникненні такого збурення. Бібл. 3, рис. 4.

**Ключові слова:** частота, системна аварія, частотна автоматика енергоблоку, атомна електростанція, ізольована робота, стійкість за частотою, острів.

Підключення об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України на паралельну роботу з енергооб'єднанням країн Центральної та Західної Європи ENTSO-E (European Network Transmission System Operators for Electricity – Європейська мережа операторів систем передачі електроенергії) висуває низку вимог, зокрема в частині забезпечення стійкої роботи вітчизняної ОЕС в ізольованому режимі.

Одним з основних показників, який визначає надійність режимів та якість електричної енергії, є частота змінного струму. На поточний час паралельна робота ОЕС України з енергосистемами країн СНД дозволяє підтримувати допустимі рівні відхилення частоти навіть при відключенні енергоблоку (ЕБ) атомної електростанції (АЕС) номінальною потужністю 1000 МВт. При цьому, як відомо, відхилення частоти в ОЕС визначається величиною небалансу потужності, що виник, а також статичними частотними характеристиками ОЕС та енергооб'єднання в цілому [2, 3]. Так, на основі даних моніторингу частоти та перетоків активної потужності, що здійснюється вітчизняною системою SCADA/AGC/EMS, для випадку відключення ЕБ АЕС визначена статична частотна характеристика ОЕС України (рис. 1), коефіцієнт крутизни якої складає 3150 МВт/Гц. Це дозволяє виконати оцінку режимів вітчизняної ОЕС у вигляді реакції генераторів та навантаження на зміну частоти в енергооб'єднанні, а також визначити відхилення частоти в ОЕС для відомих величин коефіцієнта обертаючого резерву та частки агрегатів, що беруть участь у первинному регулюванні частоти (рис. 2). Представлення відхилення частоти у тривимірному просторі дозволяє побудувати сімейство таких просторових залежностей для декількох збурень різної потужності з метою візуалізації ситуації щодо можливого максимального відхилення частоти для забезпечення більш надійного (з точки зору стійкості за частотою) складання графіків покриття та визначення складу генеруючого обладнання на етапі планування режимів роботи ОЕС України.

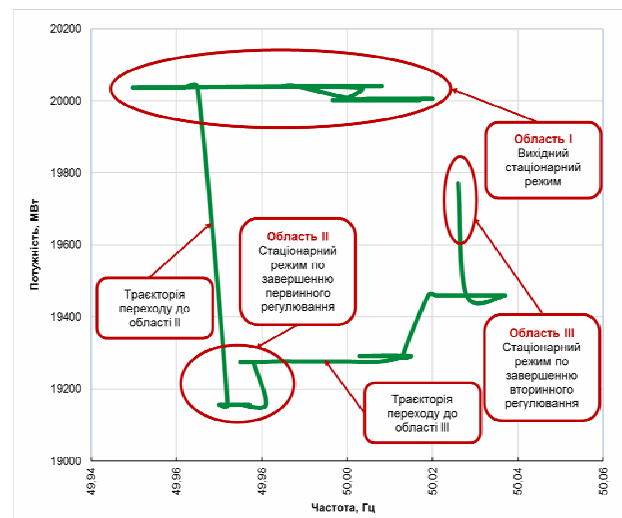


Рис. 1

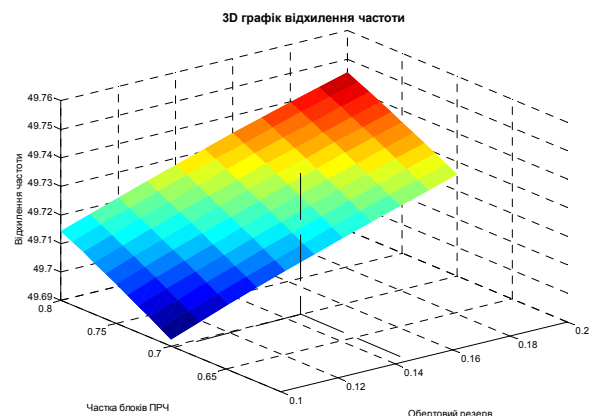


Рис. 2

**Метою роботи** є визначення ефективності функціонування систем протиаварійного керування при виникненні збурень, що супроводжуються значним зниженням частоти. Перехід ОЕС України на ізолюваний режим роботи, що є однією з вимог ENTSO-E, буде визначатися більш «жорсткими» режимними умовами, зокрема в частині забезпечення стійкості за частотою. В таких умовах виникнення системних аварій є небезпечним в аспекті порушення стійкої роботи вітчизняної ОЕС. Однією із заборук забезпечення живучості ОЕС України є надійна робота систем регулювання частоти, а також систем протиаварійного керування, насамперед пристроїв автоматичного частотного розвантаження (АЧР). Це дозволить попередити спрацювання частотних автоматик енергоблоків вітчизняних АЕС при підвищенні (зниженні) частоти та розвиток особливої аварії, наслідком якої є повне знеструмлення власних потреб багатьох вітчизняних теплових та атомних електростанцій. Як випливає з наведеного, обсяг навантаження, що обмежується дією АЧР, повинен бути таким, щоб час виходу частоти із зони спрацювання частотної автоматики не перевищував допустимої уставки за часом відповідної черги [1]. Графічне пояснення процесів зміни частоти в таких аварійних режимах представлено на рис. 3, де наведено криві зміни частоти в ОЕС, які відповідають різним величинам небалансів активної потужності, що виникають. Так, у першому випадку (крива 1) резерви первинного та вторинного регулювання, що моделюються у цьому дослідженні, є достатніми для утримання допустимого відхилення частоти, яке є безпечним в аспекті порушення стійкості ОЕС України за частотою. У другому випадку (крива 2) спостерігається значне відхилення частоти від номінального значення. З метою попередження «входження» частоти в область спрацювання частотних захистів АЕС починають спрацьовувати пристрої спеціальної та захисної черг АЧР першої категорії, які виробляють керуючі дії на обмеження потужності споживання. Застосування таких превентивних заходів дозволяє підвищити частоту в ОЕС (рис. 3) і, як наслідок – попередити спрацювання першої черги частотної автоматики АЕС, яка визначається областю А.

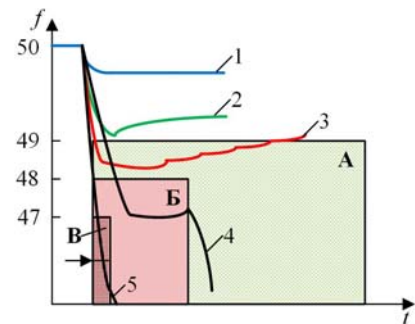


Рис. 3

Виникнення ще більшого небалансу активної потужності в масштабах ОЕС призводить до глибокого відхилення частоти (крива 3), коли частота «входить» в область спрацювання А першої черги частотної автоматики АЕС. Проте дія пристроїв АЧР другої категорії (суміщеної та несуміщеної) дозволяє підвищити частоту в ОЕС і забезпечити її вихід за межі області спрацювання А. Зміни частоти, що відповідають кривим 4 та 5, призводять до відключення ЕБ АЕС від мережі з подальшим переходом до особливої системної аварії. Так, обсяги спрацювання АЧР є недостатніми для виходу частоти (крива 4) за межі допустимої області Б. При більш глибокому зниженні частоти (крива 5) допустимий час роботи ЕБ АЕС значно зменшується; при перевищенні часу знаходження частоти в області В здійснюється відключення ЕБ від мережі. Такий розвиток системної аварії також призводить до виникнення особливої системної аварії, яка супроводжується повним знеструмленням ОЕС із втратою власних потреб вітчизняних електростанцій.

Дослідження роботи систем протиаварійного керування, а також частотних автоматик ЕБ АЕС у рамках роботи виконано для випадку поділу ОЕС України на два ізолювано працюючих острови по перетину «Захід-Вінниця» відповідно до розробленої методології розрахункових досліджень, яка враховує режими роботи ОЕС («зима-максимум» та «літо-мінімум»), стан первинного регулювання частоти (автоматичні регулятори швидкості в роботі або виведені з роботи), режими роботи частотних автоматик ЕБ АЕС (введені в роботу або виведені), а також характеристику навантаження (статична або динамічна). З урахуванням вищезазначеного, на базі запропонованої методології сформовано 16 розрахункових сценаріїв, що дозволяють провести комплексні дослідження режимів за частотою у двох островах, що утворилися при поділі ОЕС України.

Як свідчать отримані результати досліджень, для «східного острова» стійкість за частотою зберігається для всіх розглянутих розрахункових сценаріїв моделювання (рис. 4). Дефіцит потужності генерації, що утворився у цьому острові, компенсується мобілізацією первинних резервів (у рамках відповідних сценаріїв), а також за рахунок дії пристроїв АЧР першої (спеціальної, захисної та основної черг спрацювання) та АЧР другої (несуміщеної) категорій, що свідчить про достатність обсягів потужності споживання, що обмежуються дією цих пристроїв. У той самий час, як свідчать результати моделювання, для «західного острова» стійкість за частотою

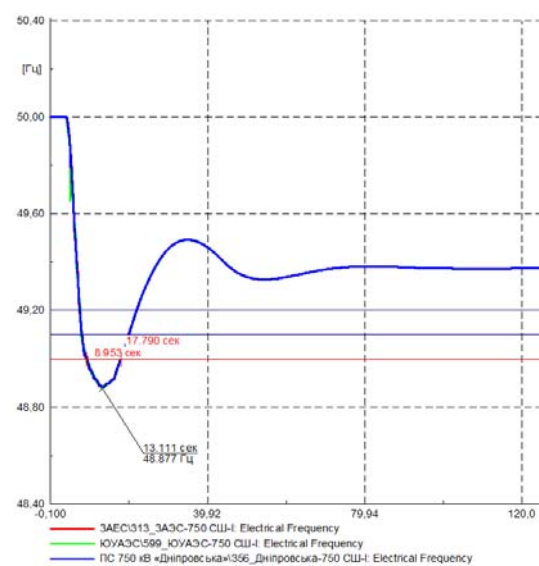


Рис. 4

не забезпечується для жодного розрахункового сценарію моделювання. Серед іншого, це обумовлено виникненням значного небалансу активної потужності, який визначається доаварійним перетоком по перетину «Захід-Вінниця». Крім того, у цьому острові відсутні первинні резерви активної потужності в напрямку розвантаження регулюючих енергоблоків при підвищенні частоти. Це обумовлено тим, що в острові генерація активної потужності здійснюється переважно енергоблоками Хмельницької та Рівненської АЕС, потужність яких в умовах збільшення частоти не змінюється. Проте навіть за умови участі блоків цих станцій у первинному регулюванні частоти їхній регулюючий діапазон є недостатнім для утримання частоти у допустимих межах.

Таким чином, відповідно до результатів моделювання існуючі обсяги навантаження, що обмежуються дією пристроїв АЧР, є достатніми для забезпечення стійкості за частотою у «східному острові» ОЕС України, що працює в ізолюваному режимі у випадку її поділу по перетину «Захід-Вінниця» з небалансом активної потужності 2400 МВт. Одним із варіантів забезпечення стійкості за частотою у «західному острові» є удосконалення системи протиаварійного керування при підвищенні частоти в частині створення адаптивних частотних автоматик енергоблоків АЕС з контролем окремих режимних параметрів, що дозволить підтримувати відхилення частоти в межах допустимих значень.

1. Павловський В.В., Стелюк А.О. Оцінка впливу частотних автоматик енергоблоків атомних електростанцій на живучість та стійкість ОЕС України за частотою // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 6. – С. 53-58.
2. Сидоров А.Ф. Об определении коэффициента жесткости энергосистемы по частоте // Новини енергетики. – 2004. – № 3. – С. 40-45.
3. Machowski J., Bialek J., Bumby J. Power system dynamics. Stability and Control. – John Wiley & Sons, 2008. – 611 p.

УДК 621.316.726

## **ВЛИЯНИЕ АВТОМАТИК ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПО ЧАСТОТЕ ПРИ ДЕЛЕНИИ ОЭС УКРАИНЫ НА ДВА ИЗОЛИРОВАННО РАБОТАЮЩИХ ОСТРОВА**

**А.О.Стелюк**, канд.техн.наук

**Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.**

**e-mail: [astelyuk@gmail.com](mailto:astelyuk@gmail.com)**

*Рассмотрено изменение частоты в объединенной энергосистеме (ОЭС) Украины. Проведен анализ работы частотных автоматик энергоблоков атомных электростанций при возникновении аварийных режимов. Предложена методология проведения расчётных исследований для разных схемно-режимных условий ОЭС Украины при ее делении на два изолированно работающих острова по сечению «Запад-Винница». Приведены результаты моделирования с учетом действия устройств автоматической частотной разгрузки и частотной автоматики энергоблоков при возникновении такого возмущения. Библиограф. 3, рис. 4.*

**Ключевые слова:** частота, системная авария, частотная автоматика энергоблока, атомная электростанция, изолированная работа, устойчивость по частоте, остров.

## **AUTOMATICS IMPACT OF THE NUCLEAR POWER PLANT GENERATING UNITS ON FREQUENCY STABILITY IN CASE OF IPS OF UKRAINE SEPARATION IN TWO ISOLATED ISLANDS**

**A.O. Steliuk**

**Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,  
pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.**

**e-mail: [astelyuk@gmail.com](mailto:astelyuk@gmail.com)**

*The frequency change has been considered in the event of the parallel and isolated operation of the interconnected power system (IPS) of Ukraine. The frequency automatics operation of the nuclear power plant generators is analyzed in case of the emergency. The methodology has been proposed for the different operation conditions considering IPS of Ukraine separation into two islands at “Zakhid-Vinnytsa” interface. The simulation results considering frequency load shedding and frequency automatics of the power units are shown for such disturbance. References 3, figures 4.*

**Key words:** frequency, emergency, frequency automatics of the generating unit, nuclear power plant, isolated operation, frequency stability, island.

1. Pavlovsky V., Steliuk A. Influence estimation of the frequency protection of nuclear power plant units on system survivability and frequency stability of Ukrainian power system // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2015. – No 6. – Pp. 53-58. (Ukr)
2. Sidorov A. About evaluation of the frequency stiffness coefficient // Novyny Enerhetyky. – 2004. – No 3. – Pp. 40-45. (Rus)
3. Machowski J., Bialek J., Bumby J. Power system dynamics. Stability and Control. – John Wiley & Sons, 2008. – 611 p.

Надійшла 05.02.2016

Остаточний варіант 05.04.2016